

УДК 624.131

СУТОЧНЫЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИИ ПРАВОБЕРЕЖНОГО СКЛОНА ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Анализируются суточные деформации, выделенные из почасовых показаний автоматизированного гидростатического нивелира.

Ключевые слова: деформационный мониторинг, гидростатический нивелир, временные ряды, суточные деформации.

ТОКТОГУЛ ГЭСИНИН ТОО КАПТАЛЫНДАГЫ ОН ЖЭЭКТИГИ СУТКАЛЫК ЖУЛУУЛУК ДЕФОРМАЦИЯСЫ

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын
Геомеханика жана жер казынасын иштетүү институту

Автоматташтырылган гидростатикалык деңгээлдин сааттык көрсөткүчтөрүнөн алынган суткалык деформациялар талданат.

Баштапкы сөздөр: деформациялык мониторинг, гидростатикалык нивелир, математикалык убакыт катары, суткалык деформациясы.

DAY TERMOELASTIC DEFORMATIONS OF TOKTOGUL HES RIGHT SLOPE

Sydykova A.S., Emilbekov B.E.

Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National
Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

Day deformations from every hour data of hidrostatic levels is analysed

Key words: deformation monitoring, hidrostatic levels, time series, day deformations.

ИГОН НАН КР проводит деформационный мониторинг потенциально неустойчивого блока 59-1 правобережного склона,

примыкающего к Токтогульской ГЭС начиная с 2004 г. Краткое описание блока 59-1 приведено в [1]. Основной задачей мониторинга является выявление естественных длительных неупругих (необратимых) микродеформаций наблюдаемого массива. Используемая аппаратура обладает высокой чувствительностью, что приводит к появлению разнообразных случайных ошибок измерений. Одной из причин разброса данных могут служить суточные упругие температурные деформации.

Для выявления суточных деформаций и их последующего анализа были использованы данные почасовых измерений вертикальной составляющей перемещений блока 59-1 относительно тыловой, условно неподвижной части массива, полученные автоматизированным гидростатическим нивелиром китайской фирмы NARI в 2009-2010 гг. На графиках знак плюс означает перемещение подвижного блока вверх, минус - вниз. Имеющиеся временные ряды характеризуются повышенным разбросом данных [2].

Цель обработки состоит в выделении суточного полезного сигнала на фоне сильных помех и оценке его статистических характеристик. О существовании суточных деформаций свидетельствуют результаты спектрального анализа, приведенные в [1]. В амплитудном спектре выделяются 8-, 12- и 24-часовые компоненты вертикальных движений, представляющие основную (24 часа) и кратные ей гармоники. На наличие суточных упругих деформаций указывает и построенная по обрабатываемым данным выборочная автокорреляционная функция, представленная на рис.1. Объем выборки – 480 часов, что соответствует 20 суткам.

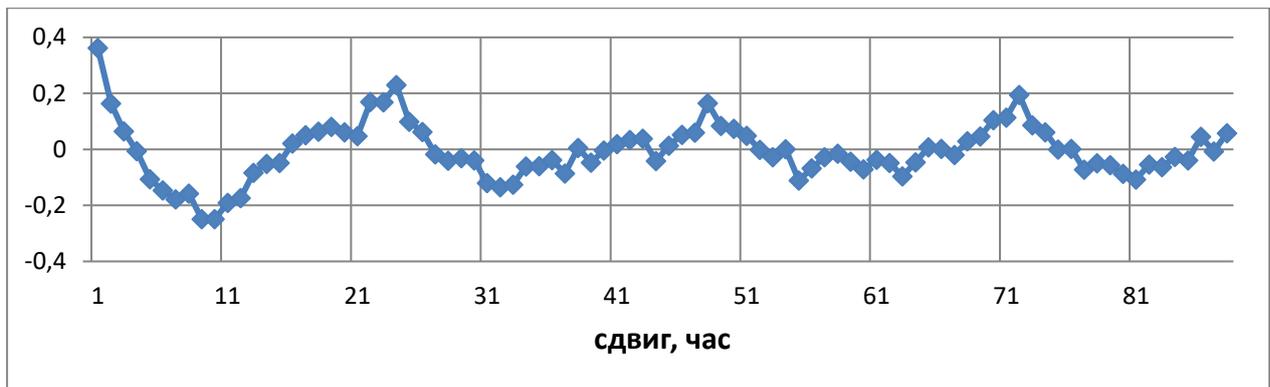


Рис.1 Выборочная автокорреляционная функция

Видно, что имеется достаточно высокая положительная корреляция при сдвиге на одну точку, что соответствует 1 часу, сохраняя положительную корреляцию до 3 часов. Это означает, что если имеет место некоторое большое значение показаний нивелира, превышающее среднее значение, то весьма вероятно, что через три часа оно спадет ниже среднего значения, и наоборот. Выборочные оценки для сдвигов от 4 до 16 часов устойчиво отрицательны. Это означает, что среднее положительное отклонение от среднего значения имеет тенденцию к последующему отрицательному отклонению с задержкой от 4 до 16 часов. В случаях, когда значения автокорреляционной функции крайне малы, подобные выводы могут быть ненадежны. В целом автокорреляционная функция обнаруживает явную периодичность с периодом 24 часа, что связано с наличием суточных термоупругих деформаций.

Суть обработки заключается в том, что, несмотря на большой разброс, исходные данные содержат в себе полезные сигналы: тренд, сезонная и суточная компоненты. Методика выделения полезного сигнала состоит в выборе рационального значения объема скользящего окна для низкочастотного фильтра. Основное предположение состоит в том, что регистрируемый сигнал (временной ряд) y_t состоит из полезных сигналов (систематические компоненты) x_t и случайной компоненты z_t , причем математическое ожидание у случайной компоненты равно нулю,

а дисперсия постоянна, т.е. временной ряд представим в виде $y_t = X_t + Z_t$. При усреднении, т.е. при суммировании $\sum z_t \rightarrow 0$ и величина случайной компоненты становится пренебрежимо малой. Таким способом выделяются медленные движения (тренд и сезонная компонента), очищенные от разброса (высокочастотной составляющей) данных.

При вычитании медленных движений из исходного временного ряда получаем так называемый остаток. Для выделения суточных деформаций необходимо сделать предположение, что они остаются примерно постоянными в течение достаточно длительного времени. Тогда задача сводится к выделению периодической составляющей постоянной формы из остатка. Из постоянства формы сигнала следует, что выбирая объем выборки равный или кратный одним суткам, при суммировании значений в таком временном окне получаем математическое ожидание суточных деформаций равным нулю. Это означает, что суточная компонента переходит в остаток без искажений.

Применялся модифицированный нерекурсивный фильтр низких частот [4], объем скользящего окна составлял трое суток, т.е. 72 отсчета. Простейшая обоснованная процедура состоит в том, что сначала вычисляется остаток при объеме скользящего окна кратном 1 суткам, затем производится суммирование данных остатка в определенные моменты времени (8 часов, 9 часов и т.д.). В итоге выделяются суточные компоненты, поскольку при суммировании в конкретное время суток значение случайной компоненты становится пренебрежимо малым. Объем выборки для оценки величин суточных деформаций превышал месяц и составлял 40 суток.

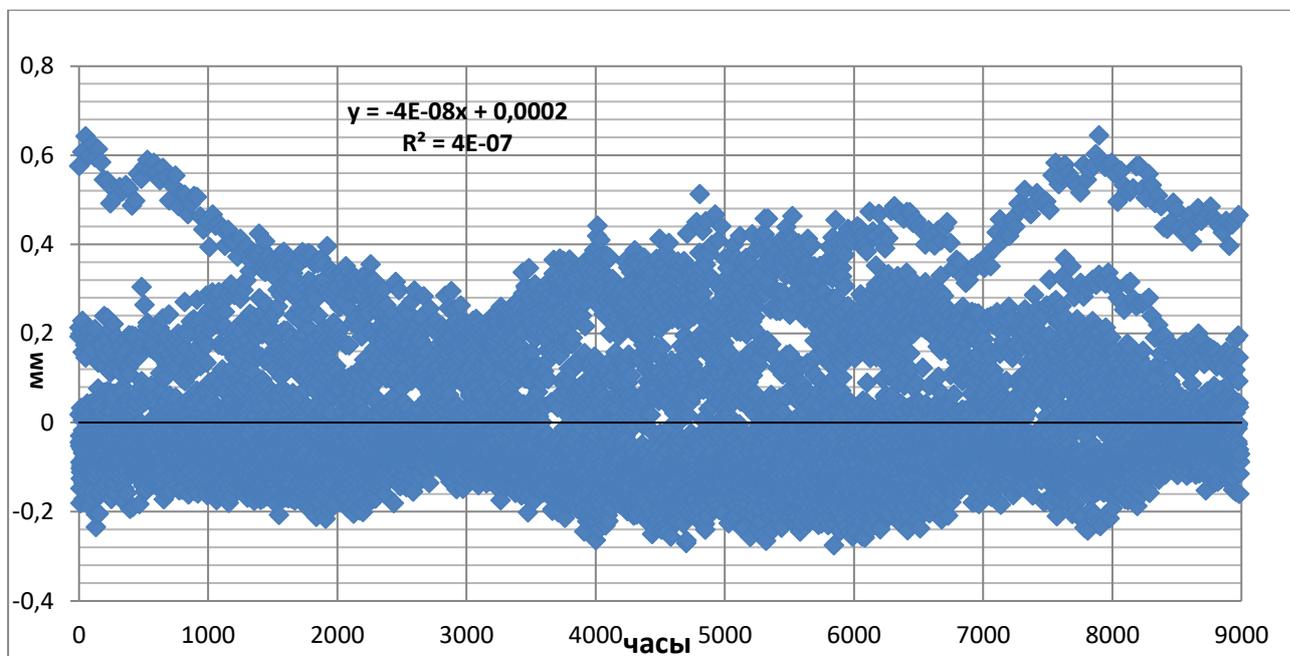


Рис.2. Суточные термоупругие деформации 2009-2010 гг.

На рисунке 2 приведены почасовые значения суточных деформаций в течение года с середины июля 2009 г по август 2010 г. Там же приведена (темная линия) регрессионная прямая и ее характеристики с целью проверки правильности вычислений. Видно, что среднее значение практически равно нулю (на два порядка ниже чувствительности прибора), что свидетельствует о правильности использованной методики вычитаний медленных движений. В виде пояснения к рис.2 приведена табл.1, в которой показаны интервалы часов для использованных для обработки месяцев года.

Значения часов на конец месяца

Табл.1

07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06
432	1177	1897	2651	3361	4105	4849	5521	6265	6984	7728	8448

Из рисисунке 2 видно, что годовые суточные деформации можно разделить на три части. В летние периоды имеются ярко выраженные максимумы деформаций, достигающие 0,6 мм и значительно превышающие основную массу показаний. В осенне-зимний период

максимальные дневные деформации не превышают 0,3 мм. Зимне-весенний период характеризуется промежуточными значениями.

На рисунках 3-5 представлены суточные деформации по соответствующим погодным сезонам. Основная цель – прояснить детали суточных деформаций. На рисунке 3. показаны суточные деформации, усредненные по 40 суткам июля и августа 2009 г. Обращает на себя внимание наличие острых пиков тепловых деформаций, наблюдаемых в период 12-13 часов пополудни. Они могут быть связаны с солнечной радиацией. Действительно, в районе расположения Токтогульской ГЭС р.Нырын течет строго на юг. Поэтому правый склон подвергается интенсивной солнечной радиации и, соответственно, нагревается до 13 часов, после чего попадает в тень. Подобные пики суточных деформаций наблюдаются в летние периоды и на фоторегистрограммах кварцевых деформографов станции №4 левого склона р.Нарын, наиболее близко расположенной к свободной поверхности склона [5]. При этом пик деформаций наблюдается в 17 часов, после чего левый склон также попадает в тень. По-видимому, наличие таких пиков может быть объяснено процессами тепло- и температуропередачи.

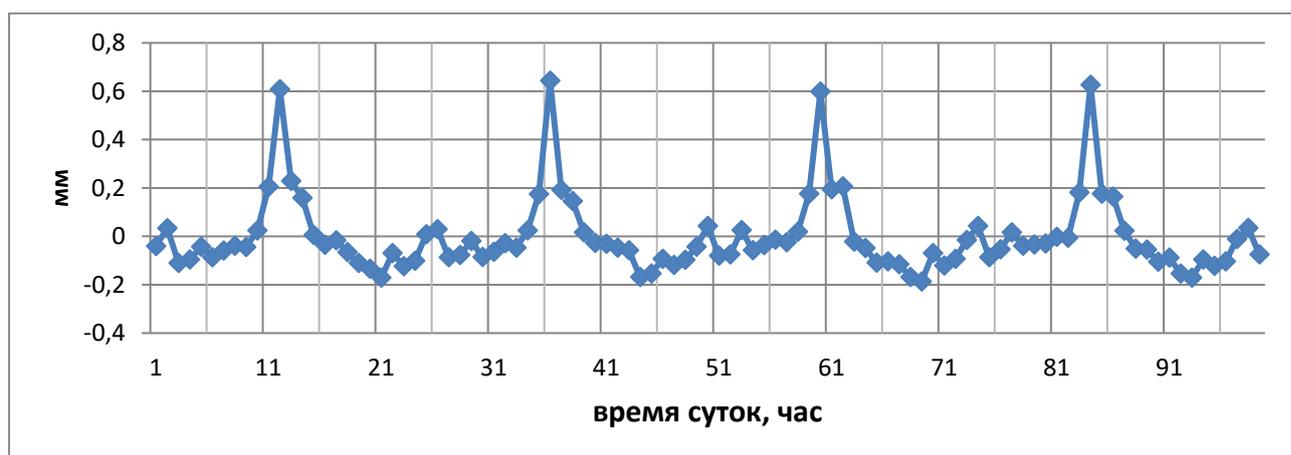


Рис.3. Летние суточные деформации, июль 2009 г.

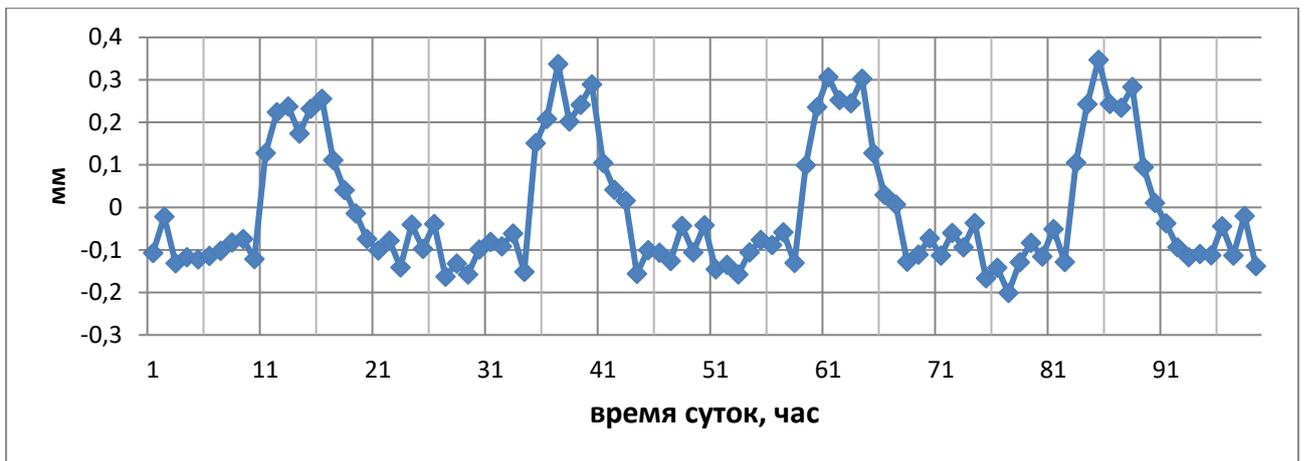


Рис.4. Осенне-зимние суточные деформации, октябрь-декабрь 2009 г.

В отличие от летних периодов, в осенне-зимний период наблюдаются два выраженных максимума. Первый, как и летом, в 12-13 часов, что связано с солнечной радиацией, второй в 15-17 часов, именно в это время наблюдается суточный температурный максимум в тени. Поскольку суточные деформации вычислялись по выборке в 40 суток, этот эффект может быть связан с чередованием в это время солнечных и пасмурных дней.

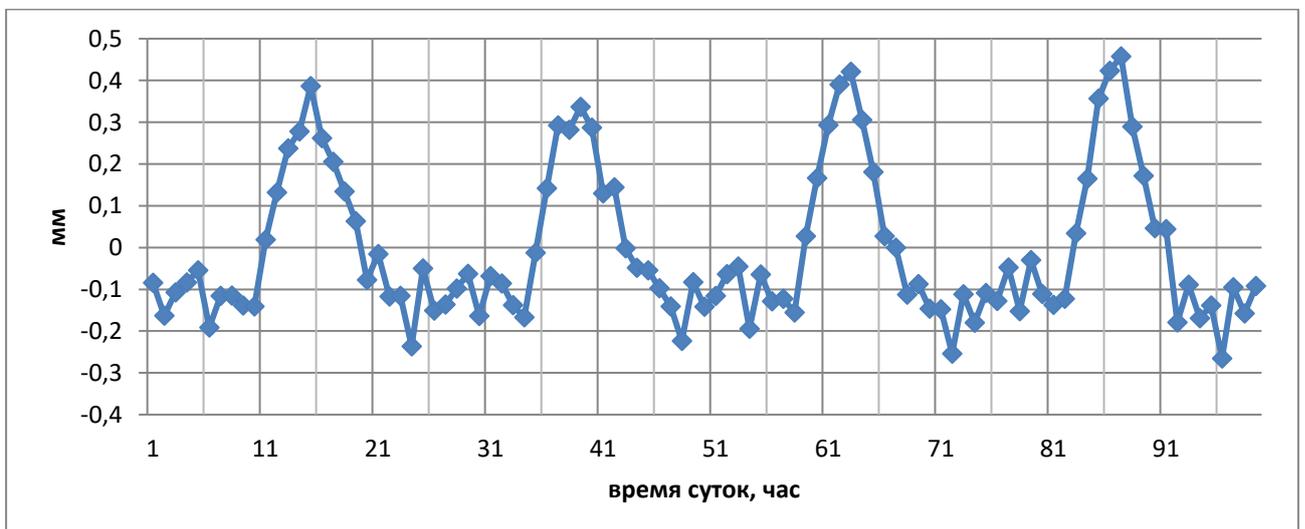


Рис.5. Зимние суточные деформации, февраль 2010 г.

Представленные на рис.5. суточные деформации в зимний период снова характеризуются одним максимальным значение, однако уже в 15-

17 часов, что характерно для хода температуры в тени или в пасмурную погоду. Максимальные значения температурных деформаций выше, чем в осенне-зимний период, что может быть связано с наличием только одного максимума и сделанного в самом начале статьи предположения, что математическое ожидание суточных деформаций равно нулю.

Таким образом, приведенные выше суточные деформации представляют собой некоторые усредненные значения по 40 суткам. Чтобы иметь более ясное представление о суточных деформациях, в табл.2 приведены почасовые средние значения (математические ожидания) и их стандартные отклонения, подсчитанные по 36 значениям для июля-августа 2009 г. Значение 36 взято из соображений удобства при подсчете доверительных интервалов математических ожиданий.

Таблица 2. Средние значения и стандартные отклонения суточных деформаций, июль-август 2009 г.

часы	1	2	3	4	5	6	7	8
μ ,	-0,40	0,009	-0,086	-0,09	-0,033	-0,097	-0,068	-0,025
σ	0,353	0,357	0,19	0,229	0,244	0,27	0,209	0,304
часы	9	10	11	12	13	14	15	16
μ	-0,077	0,047	0,207	0,613	0,245	0,230	0,029	-0,057
σ	0,223	0,276	0,354	0,39	0,514	0,588	0,471	0,315
часы	17	18	19	20	21	22	23	24
μ	-0,003	-0,061	-0,07	-0,138	-0,177	-0,08	-0,125	-0,124
σ	0,54	0,466	0,392	0,422	0,269	0,257	0,282	0,244

Видно, что стандартные отклонения имеют высокие значения и доверительные интервалы $\pm 2\sigma$ превышают математические ожидания, что является характерной чертой разброса данных автоматизированных гидростатических нивелиров [2]. Вместе с тем, результаты усреднений по большим объемам выборок, приведенные в настоящей статье (рис.2.-

рис.5.) указывают на наличие устойчивых закономерностей суточных деформаций. Это позволяет утверждать, что суточные температурные деформации действительно имеют место. Они интенсивны в период от 11 до 18 часов. Отсюда следует практически важный вывод, что снятие показаний приборов деформационного мониторинга нужно проводить в утренние часы (9-10 часов). В это время величины суточных деформаций близки к нулю, а ошибки измерений (стандартные отклонения) минимальны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манжиков Б.Ц., Тилегенов К. Мобильность потенциально неустойчивых скальных массивов на участке Токтогульской ГЭС //Современные проблемы механики сплошных сред: Вып.17: Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии, с.125-135.
2. Сыдыкова А.С., Тилегенов К., Эмильбеков Б.Э. О показаниях гидростатических нивелиров при деформационном мониторинге горных склонов //Современные проблемы механики: Гидрогазодинамика, геомеханика, геотехнологии и информатика, №25(3), 2016 г, с.44-52.
3. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. М.: Мир,1976, - 755с
4. Хэмминг Р.В. Цифровые фильтры. М.: Мир, 1987,– 221 с.
5. Степанов В.Я. Механика горных склонов – Бишкек: Илим, 1992.– 192 с.